

JP10319128

**Title:  
PASSIVE-TYPE UNDERGROUND STRUCTURE PROBING DEVICE**

**Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To configure a device for probing an underground structure by measuring and analyzing a vibration that is peculiar to the earth. **SOLUTION:** A device consists of a vibration detection device 1 and a plurality of analysis devices and a plurality of devices 1 are arranged at a specific observation position. Each vibration detection device detection part 2 detects vibration (1 Hz or less) that is peculiar to the earth caused by such natural phenomenon as the wave and wind of the ocean, the detected data are converted from analog to digital, and accurate time data that are outputted from a clock are superposed and are stored in a storage means 9. An analysis device unifies the time axis of vibration data that are outputted from each vibration detection device 1 using superposed time data and analyzes the underground structure at the lower part of a position where the vibration detection device 1 is arranged, thus analyzing vibration data for each observation point and totally analyzing analysis data for each observation point and hence estimating the underground structure at a specific region.

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>  
G 0 1 V 1/00

識別記号

F I  
G 0 1 V 1/00

C

## 審査請求 未請求 請求項の数6 FD (全8頁)

(21)出願番号 特願平9-146041

(22)出願日 平成9年(1997)5月21日

(71)出願人 597078237

岡田 廣  
北海道札幌市北区北二十九条西7丁目3番  
26号

(71)出願人 597078248

日本熱水開発株式会社  
東京都渋谷区富ヶ谷2丁目2番5号

(72)発明者 岡田 廣

北海道札幌市北区北二十九条西7丁目3番  
26号

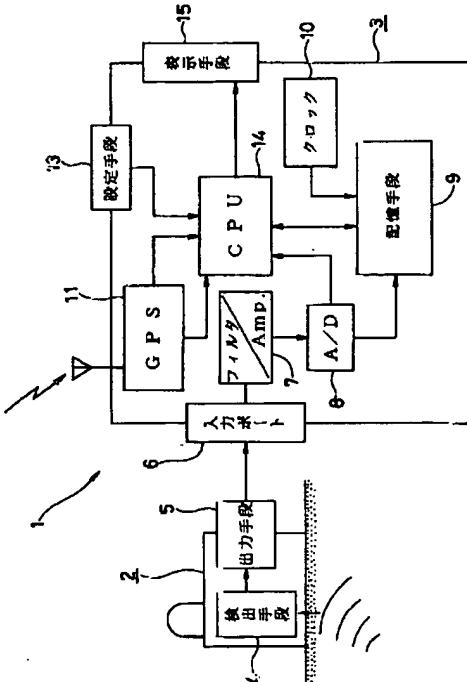
(74)代理人 弁理士 吉澤 桑一

## (54)【発明の名称】 受動型地下構造探査装置

## (57)【要約】

【課題】 地球固有の振動を測定解析することにより地下構造を探査する装置を構成する。

【解決手段】 装置は振動検出装置1の複数台と解析装置とから成り、振動検出装置1は特定の観測位置に対して複数台配置される。各振動検出装置検出部2は海洋の波動、風等の自然現象に起因する地球固有の振動(1Hz或いはそれ以下)を検出し、検出したデータはA/D変換されたのち、クロックから出力される正確な時間データが重畳されて記憶手段9に記憶される。解析に当たっては、解析装置は各振動検出装置1から出力される振動データを、重畳された時間データを用いて時間軸を統一させて波形分析し、この振動検出装置1の配置されている位置の下部の地下構造を解析する。このようにして観測地点毎に振動データを解析し、各観測地点毎の解析データを総合的に解析することにより所定の区域の地下構造を推定する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 地球が有する固有の低周波振動を検出し、かつこの低周波振動を解析することにより地下構造を探査する装置であって、複数の振動検出装置と、各振動検出装置が検出した振動データを解析する解析装置とから成り、振動検出装置は振動を直接検出する検出部と、この検出部の検出データが入力される本体部とを有し、本体部には自己の配置位置を検出する位置決め手段が設けられ、解析装置には振動検出装置から出力された振動データを解析して地下構造を推定する手段を有していることを特徴とする受動型地下構造探査装置。

【請求項2】 振動検出装置には検出部で検出された振動データを記憶する手段と、この振動データに時刻データを重畳させるクロックとを有し、解析装置には各振動検出装置から出力された振動データに重畳された時刻データにより各振動データの時間軸を統一する手段が設けられたことを特徴とする請求項1記載の受動型地下構造探査装置。

【請求項3】 観測地点に複数設定された観測要素点に対してそれぞれ設置された各振動検出装置により一つのアレイが構成され、各アレイにはそれぞれ配置コードが割り振られ、配置コードは当該配置コードに対応する各振動検出装置の振動データと重畳して記憶するよう構成され、解析装置は各振動検出装置の振動データを配置コード毎に分類する手段と、各配置コード毎の振動データを分析しあつ当該配置コード毎の地下構造を推定する手段とを有することを特徴とする請求項1又は2記載の受動型地下構造探査装置。

【請求項4】 振動検出装置には振動のパワースペクトルを評価する手段が設けられ、予め設定された値以上のパワースペクトルを有する場合のみ当該振動検出装置の振動データを記憶するよう構成したことを特徴とする請求項1乃至3の何れかに記載の受動型地下構造探査装置。

【請求項5】 解析装置には総合解析手段が設けられ、各配置コード毎の推定データを総合解析することにより各配置コードから成る複数の観測地点全体の地下構造を解析するよう構成したことを特徴とする請求項1ないし4の何れかに記載の受動型地下構造探査装置。

【請求項6】 前記振動検出装置に於ける位置決め手段は、人工衛星から発振される電波を受けて自己の位置決めを行うGPSシステムであることを特徴とする請求項1記載の受動型地下構造探査装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は地球という球体自身が有している振動を検出し、かつこの振動データを解析することにより地下構造を探査する地下探査装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】地下構造を探査する必要性は、(1)土木・建築のための立地(地盤)調査等の主として産業上の必要性、(2)地震等の自然災害を防止する防災上の必要性、(3)石油・鉱物・温泉等の資源探査上の必要性に大別することができる。

【0003】一方地下構造探査の方法としては地盤をボーリングしてサンプルを得ることにより探査する方法(直接探査法)と、地面に対して人工的な振動を与え、地下を構成する各地層からの反射波等を測定分析する等の方法により地下構造を推定する方法(間接探査法)に分けることができる。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記方法のうちボーリングにより直接地下を探査する方法は、地下を精査することが可能であるが、探査区域が広くなると膨大な数のボーリングを行う必要があること、及び経済的な探査深度は100m程度とあまり深い探査はできないこと等により、その探査対象は(1)に示す土木・建築のための立地(地盤)調査に事実上限定される。また(3)に示す資源探査においては大深度ボーリングを行うが、このボーリングには多大な費用が掛かるため、ボーリング地点を安易に決めることができず、ボーリングの前に広範囲に地下の状態を把握し、ボーリング位置を決定することが経済上も切実な課題となる。

【0005】上記直接探査法に比較して、間接探査法は比較的広い地域を経済的に探査可能であること、浅深度から大深度まで幅広く探査可能であること等の利点を有している。この間接探査法は、地下の物理的特性のレスポンスを得るという意味で物理的探査法とも称され、地下の物理的性質を捉るために人為的に地面に与えられた物理的信号に対するレスポンスを観測・測定する方法と、本発明者らが研究している、潮汐等の自然の営為により生じる物理的信号を観測・測定する方法の二つがある。

【0006】このうち、前者は人工的な振動を発生させることが探査の前提となるため、この人工振動の発生源として起振機(バイブルサイズ)を用いたり、或いはダイナマイト等の爆発物を使用する必要がある。このため例えば建物の密集する都市部での探査は極めて困難或いは不可能であり、上記(2)に示す防災上の探査において、地震防災上最も必要である都市部の地殻探査が事実上不可能となるという大きな問題を有している。また人工的に発生させる振動は比較的高周波であるため、人間の活動による比較的周波数の高い振動が、この人工的に発生させた振動の反射波中に含まれてしまうと、これをノイズとして除去することが困難となり、測定精度を低下させるおそれがある。

【0007】なお、間接探査法の他の例として、電気探査法及び重力探査法がある。これらの方は何れも低いコストで、かつ人工的な振動なども必要としないが、例

えば電気探査法では大電流を用いること、電線を長く張る必要がある等の問題がある。また重力探査法も含めて探査精度が悪く、特定の目的以外には使用できない。従って一定以上の精度を必要とする間接探査方法は、人工振動の発生を前提とした方法となるので、「従来の間接探査方法」の語は、特に断らない限りこの人工振動を前提とする探査方法を意味するものとする。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は上述の問題点を解決する受動型の地下構造探査装置であることを特徴とする。即ち、本発明は自然の営為により生じる物理的信号を観測・測定する方法を実施する装置であって、観測地点に対して配置される複数の振動検出装置と、この振動検出装置により得られた振動データを解析する解析装置とからなり、振動検出装置は、地盤の振動を検出する振動検出手段と、この振動検出手段により検出された観測データを記憶する手段と、当該記憶手段に時刻データを出力する手段と、自己の配置位置を測定検出する位置決め手段を有し、解析装置は特定の観測地点にそれぞれ配置された複数の振動検出装置の測定データを分析する手段と、分析したデータから特定の観測地点に於ける地下構造を推定する手段と、各観測地点の推定地下構造から所定の地域の地下構造を総合的に解析する手段とを有する。

#### 【0009】

【本発明を構成する技術的前提】本発明に係る装置を構成するための技術的前提となる地下構造探査方法は上記何れの方法とも異なるため、先ずこの地下構造探査方法を説明する。先ずこの地下構造探査方法（以下「新探査方法」とする）は本発明者等が長年の研究と実験により確立した革新的な探査方法である。即ち、この新探査方法は、地下からの振動を検出し、かつ解析して地下構造を推定する点において前記した間接探査方法に分類される。しかしながら、前記従来型間接探査方法が、人工的な振動を発生させることを探査の前提とするのに対して、新探査方法はこのような人工的振動を必要とせず、地球という球体の有する固有の振動を検出、解析することにより地下構造を推定する。即ち従来型の間接探査方法がいわばアクティブ（能動）型の観測を前提とするのに対して、新探査方法では観測側が振動（人工振動）を発生することではなく、地殻側からの振動を受動的に観測するパッシブ（受動）型の観測となる点にある。このパッシブ型であることにより、殆ど場所を選ぶことなく地下探査が可能になるという画期的な効果が得られるのである。

【0010】この新探査方法をより具体的に説明するところのとおりである。先ず、観測対象である地面は地球という球体自体が有している固有の振動を持っている。即ち、新探査方法は、地球が海洋波浪、気象変動等の地球の自然現象に起因する恒常的な自然微振動を持っている

ことに着目し、この自然微振動の表面波を検出、解析することにより、人工振動を発生させることなく地下構造を解析推定することにその特徴がある。

【0011】図10に示すように、地球の表層は地震以外でも符号W<sub>a</sub>で示す波浪、符号W<sub>i</sub>で示す風等の自然現象に起因して、或いは交通、生産活動等の人間の活動による人工的な要因によりかすかに揺れ動いている。このような微弱な振動（以下「微動」とする）は、主として自然現象によると思われる周期及び波長が長いもの、および主として人工的な要因によるものと思われる周期及び波長の短いものがある。本発明装置では、主として波長の短いものを検出することにより比較的浅い地下構造（100m程度まで）を推定し、また波長の長いものを検出することにより地下数千m程度までの地下構造を推定するよう構成されている。

【0012】図11は微動の周波数に対するパワースペクトルを示す。同図から明らかなように1Hzを境にして低周波側と高周波側にピークが生じるが、低周波側は波浪等の自然現象に起因し、かつ高周波側は主として人間活動を要因とするものと考えられる。本装置はこのように周波数の低い微動を観測して地下構造を推定するものである。なお、主とし人間活動による振動はこの微動よりも周波数の高い振動であるためノイズとして容易に除去することができる。

#### 【0013】

【発明の実施の形態】本発明に係る装置は、観測対象の微動を直接検出する複数の振動検出装置と、この振動検出装置により検出された微動のデータから地下構造を解析する解析装置とからなる。振動検出装置は観測地点に対して複数設置され、各振動検出装置が地盤の微動を観測し、この観測データが記録される。なお、この観測データには時間データが重畠されて解析装置にデータを入力することにより、後刻解析装置においてこの時間データにより時間軸を一致させて各観測データを比較解析し、これにより当該測定装置群が設置された観測地点における地下構造を解析、推定する。なお、各振動検出装置に通信手段を設けることにより検出データを解析装置に出力し、より短時間で解析するよう構成することもより可能である。

#### 【0014】

【実施例】以下本発明の実施例を図面を参考に具体的に説明する。本発明に係る受動型地下構造解析装置は図1に示す振動検出装置1の複数個と、図2に示す解析装置（通常は一台）とから構成される。先ず、図1を用いて振動検出装置の構成から説明する。矢印1で示す振動検出装置は直接振動を検出する検出部（地震計）2と、この検出部2により検出されたデータを入力しつつ記憶する本体部3とから構成されている。図示の構成では検出部2と本体部3とは別構成とされケーブル等の接続手段を用いて接続された構成となっているが、両者を一体的

に構成して一つの装置として形成することも可能である。

【0015】検出部2は地面の振動を検出する検出手段4と、この検出手段4の検出信号を増幅して本体部3に出力する出力手段5とを有している。なお、この出力手段5に増幅手段の外に、検出したデータからノイズを除去するフィルタを設けてもよいが、図示の実施例ではフィルタは本体部側に設けられている。なおこのこの検出手段4の構成を適宜選択することにより、この検出手段4により検出される振動の成分を水平方向の2成分（N-S方向/E-W方向）にしたり、或いはこの成分に加えて上下方向の成分を加えた3成分とする等の選択が可能である。

【0016】前記検出部2は本体部3の入力ポート6に接続している。入力ポート6に入力された検出データは増幅/フィルタ部7において増幅され、かつフィルタにより解析対象以外の高周波成分が除去され、A/D変換部8を経て記憶手段9に格納される。この場合クロック10から時刻データが出力され、検出データに対してこの時刻データが重畠される。

【0017】一方符号11は位置決め手段であって、図示の構成ではこの位置決め手段はカーナビケーションに用いられるものと基本的には同じ、人工衛星を用いた位置決めシステム（global positioning system/GPS）が用いられ、各振動検出装置の位置データも前記記憶手段9に記憶される。また地下探査は多点のデータを解析することになるため、図7に示すように観測地点に対して配置コードを割り振っておくことが望ましく、この場合キーボード等の設定手段13を用いて設定した配置コードも記憶手段9に記憶させておくようとする。符号14は本体部3の中央処理装置、15は液晶等の表示手段であり、観測中の振動の波形、パワースペクトル、設定手段13における設定内容等を適宜表示する。

【0018】図3は上述の振動検出装置1の配置状態の例を示す。（A）、（B）共に一つの観測地点に設定される複数の観測を行う地点（以下「観測要素点」とする）の配置関係を示す。即ち各振動検出装置1はこれら各観測要素点にそれぞれ配置されるので、図示の各点はこれら観測用途点に各々配置された振動検出装置1の配置関係（以下「アレイ」とする）を示すことになる。

（A）は各振動検出装置1が三角形の頂点に位置するよう各々配置された三角形アレイ、（B）は各振動検出装置1が仮想円の円周上およびその中心に配置された円形アレイを示す。なお、（A）、（B）共に各振動検出装置1の間が実線で結んであるが、これは各振動検出装置1の配置関係を明瞭にするためのものであり、各振動検出装置1がケーブル等の物理的接続手段で接続されていることを意味するものではない。また図示のものはアレイの一例であって、地形等に合わせて色々なアレンジが可能である。

【0019】図2は解析装置16の構成例を示す。各振動検出装置が検出記憶したデータはデータ入力部17を経て解析装置16に取り込まれる。取り込まれたデータは、アレイ配置コード検出手段18によりコード化されたアレイの配置位置（以下「配置コード」とする）が検出される。特定された配置コード毎の波形データはクロックデータ検出手段20から出力されるクロックデータにより時間軸が統一されて波形分析手段19により分析され、かつ分析された波形データから地下構造推定手段21において当該配置コードで示される地点直下の地下構造が推定される（分析、推定の内容、方法等は後述する）。

【0020】次に推定された地下構造は配置コード毎に記憶手段22に配置され、最終的には総合解析手段23において各配置コードの推定地下構造を総合解析することにより、特定の区域全体の地下構造を推定する。中央処理装置24は以上の一連の処理を制御する。また、表示手段25を介して処理内容、推定地下構造等を適宜表示する。

【0021】なお、図示の構成では振動検出装置1と解析装置16とは別個に形成されているが、振動検出装置1と当該解析装置16とを一体的に構成し、一つの装置としても可能である。この場合には振動検出装置1と解析装置16とを一体化した装置を、一つのアレイに対して少なくとも一基設置し、個々の振動検出装置1の振動データをこの一体化された解析装置に出力するよう構成し、特定のアレイの振動データ全体を解析する。

【0022】図4乃至図7は上述の解析装置16における地下構造の解析の原理及び手順を示している。先ず振動検出装置1から検出されたデータから表面波のみを抽出する。因みに解析装置16においては波形分析手段19において波形分析の前提として表面波のみの抽出を行っている。この表面波は地下構造を反映して周波数毎に伝搬速度が異なる性質を有している（図4参照）ので、この分散性を表示する分散曲線から、分散の原因となる地下構造を解析する。より具体的には地下の各層の物性値はS波（ねじれ波）の伝搬速度で表されることが土木工学において公知であり、このS波速度を解析することにより地下の構造を推定する。

【0023】図5においてS波は $S_{L1}$ 、 $S_{L2}$ 、 $S_{L3}$ 、 $S_{L4}$ の4種類に解析され、この速度に対応して解析対象となつた配置コードにおける地下構造が推定される。即ち各物性値を表すS波速度により、速度 $S_{L1}$ は最初の地層 $L_1$ （深さ $H_1$ ）を、速度 $S_{L2}$ は地層 $L_2$ （深さ $H_2$ ）を、速度 $S_{L3}$ は地層 $L_3$ （深さ $H_3$ ）を、速度 $S_{L4}$ は地層 $L_4$ （深さ $H_4$ 以下）を表すことになる。

【0024】ここで、上記分析の対象データが図7に示す配置コード $P_{a1}$ のデータであるとすると、図6及び図7において、多点で示される配置コードのうち同 $P_{a1}$ で示される配置コードの地下構造が推定されたこと

になる。このようにして例えば直線上に位置する配置コード  $P_{a_2}$ 、 $P_{a_3}$ ……の解析を行うことにより図6に示すように配置コードに沿った直線の直下における地下構造が連続的に推定されることにある。

【0025】図7はこの配置コードの配置状態の例を示す。このようにアレーの配置を格子状とすることにより、格子を構成した区域全体の地下構造を推定することが可能となる。また格子の配置間隔等は観測する目的に応じて適宜変更可能であることはもとより当然である。

【0026】図8乃至図9は解析手法のフローの一例を示す。各振動検出装置1において検知されたデータが入力され(S1)、各データの配置コードがチェック(S3)を受けながら分類(S2)され、分類された各配置コード毎のデータがそれぞれ記憶手段に格納(S4)される。次に格納された配置コード毎のデータが取り出され(S5)、クロックデータにより同一の配置コードを有するそれぞれの観測データの時間軸が統一され(S6)、前述の手法により配置コード毎の地下構造が推定され(S7)、かつこのデータが格納される(S8)。次に各配置コード(例えば図7に示すように格子状に配置された各配置コード)の総合解析(S9)を行うことにより各アレーが配置された区域全体の地下構造を推定する(S10)。

【0027】なお、図9は上記解析手順において符号Aで示す部分に追加する手順を示す。この手順では解析を必要とする地下深さに対応して抽出する波長を選択する。即ち地下100m程度までであれば波長の短い振動データが有効であり、また地下数千m迄の深い地下構造を知りたい場合には波長の長い振動データが必要であるため、探査を行いたい地下深度を設定(S11)し、この設定した地下深度に対応する波長Wnを設定(S12)し、前記配置コードPnの中からこの波長Wnに対応するデータをチェック(S14)を受けながら抽出(S13)する。以後はこの抽出されたデータを前記手順に従って解析する。

【0028】上述の実施例では振動検出装置1には検出した振動データを一時記憶する記憶手段9が設けられ、例えば予め設定された各地点でのデータ収集が終了した後にこのデータを解析装置16に出力するよう構成しているが、この構成に限定するものではない。即ち各振動検出装置1をそれぞれ解析装置16にケーブル等の通信手段で接続することにより各振動検出装置1の振動データを解析装置16で短時間のうちに解析するよう構成することももとより可能である。このようにすれば基本的に時間軸の統一という問題はなくなるので高精度のタイマは必要なくなる。但し一つのアレーの構成中、観測深度によっては各振動検出装置間の距離が数百mとなる場合もあり、このような広い間隔を設定した場合にはケーブルで接続するのは現実的ではないので、アレーの配置間隔等の事情を比較考量していざれかの構成を選択す

る。なお、それぞれの配置コードに対応する複数の観測要素点に対してもそれぞれ副コードを割り振ることにより、観測要素点毎の振動検出装置1のデータを分類することももとより可能である。次に本装置の適用分野の例を装置の構成効果も一部含めて説明する。

【0029】〔地震防災地質調査〕地震による災害は、地表面の地震動の強さに強く影響される。地震動の強さは震源からの距離、表層部分の地盤のみでなく深部の基盤構造およびその形状にも支配される。本装置は地震応答解析に必要なS波速度構造を求める前提とするので、分析した地下構造を地震防災地質調査に直接的に利用することができる。

【0030】〔地下資源調査〕石油探査に代表される地下資源調査は大深度ボーリングを行う必要があるが、大深度ボーリングには多大の経費と時間が必要となる。このためボーリングを行う前に広範な区域の地下探査を行い、成功の可能性の高い地点を選択する必要がある。本装置を用いれば各振動検出装置は自己の有する位置決め手段により容易かつ正確に位置決め可能であり、従って採取したデータの信頼性が高く、然も一つの位置(特定の配置コードで示される位置)に於ける観測は大深度で30分~1時間、浅深度では10~30分程度と非常に短時間で行えるため、適正なボーリング地点を短時間で正確に決定することができる。

【0031】〔土木・建築の地盤調査〕土木・建築の工事に当たっては深さ100m以内の浅い地盤の状況を把握する必要がある。この場合には各振動検出装置の得たデータのうち特に波長の短い成分を抽出、解析することにより(図9参照)、土木・建築に必要な浅深度の地下構造を正確に推定することができる。

【0032】

【発明の効果】本発明は以上の如く、起振機やダイナマイト等の爆発物を用いて人工的な振動を発生させる必要がないので経済的、かつ安全に、しかも場所を選ぶことなく都市部等従来では測定不可能であった地域においても地下構造を探査することが可能となり、特に地震等の防災上の地下探査に極めて有効である。

【0033】また、正確な地下構造を測定するには多点での振動データの収集が必要となるが、本発明装置では振動検出装置に位置決め手段が設けられているため、究めて簡単にしかも短時間で各振動検出装置を所定の位置に配置することができ、作業時間の短縮が可能で、しかも収集したデータの信頼性を高めることができる。

【0034】更に100m以下の浅深度から数千mの大深度までの地下構造の探査が可能であるため、従来装置に比較して極めて広範な需要に答えることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の受動型地下探査装置の一部を構成する振動検出装置のブロック図である。

【図2】前記振動検出装置と共に受動型地下探査装置を構成する解析装置のブロック図である。

【図3】(A)および(B)共に一つの観測地点に於ける振動検出装置の配置状態(アレイ)を示す概念図である。

【図4】表面波の周波数と伝搬速度との関係を示す分散曲線である。

【図5】S波速度と各地層との関係を示す線図である。

【図6】配置コードが割り振られた観測地点と地下構造との関係を示す地下断面図である。

【図7】各々のアレイの配置コードの割り振りの例を示す概念図である。

【図8】検知した振動データの解析例を示すフロー図である。

【図9】前記フローの変更部分を示すフロー部分図である。

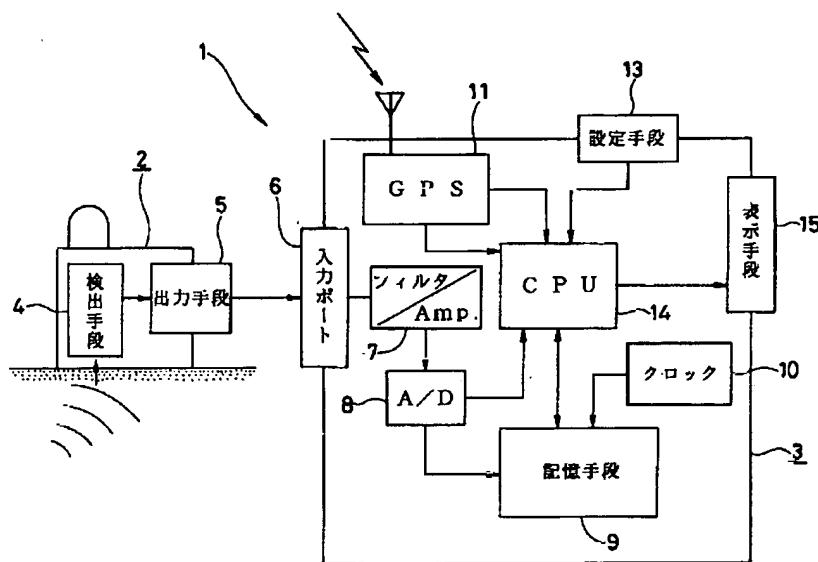
【図10】自然現象および人間の活動による振動の発生状態を概念的に示す図である。

【図11】地面の振動の周波数とパワースペクトルとの関係を示す線図である。

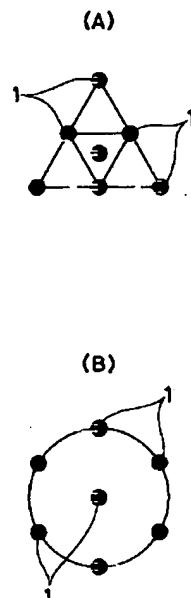
【符号の説明】

- 1 振動検出装置
- 2 (振動検出装置の) 検出部
- 3 (振動検出装置の) 本体部
- 10 クロック
- 11 位置決め手段
- 16 解析装置
- 18 アレー配置コード検出手段
- 19 波形分析手段
- 20 クロックデータ検出手段
- 21 地下構造推定手段
- 23 総合解析手段

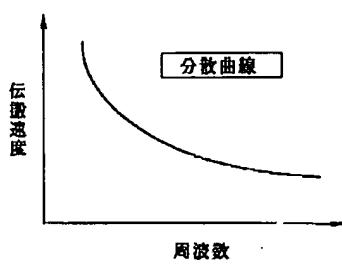
【図1】



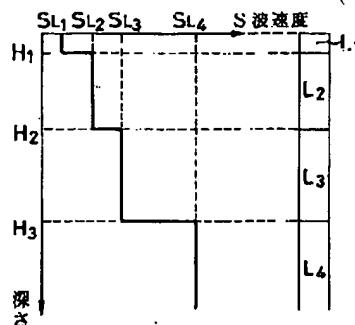
【図3】



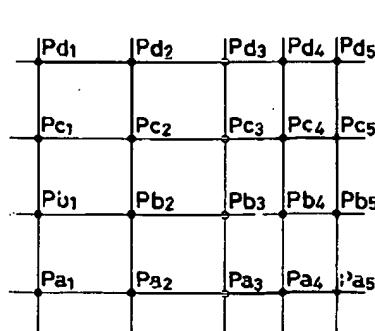
【図4】



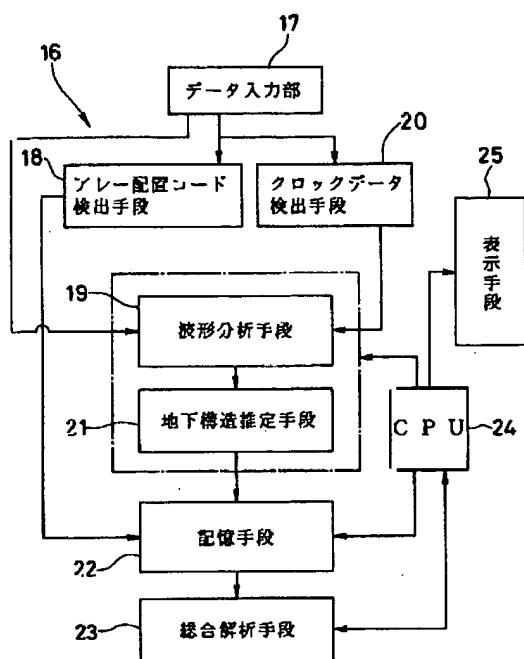
【図5】



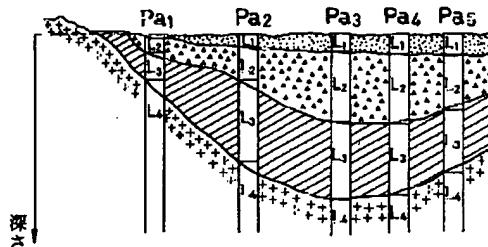
【図7】



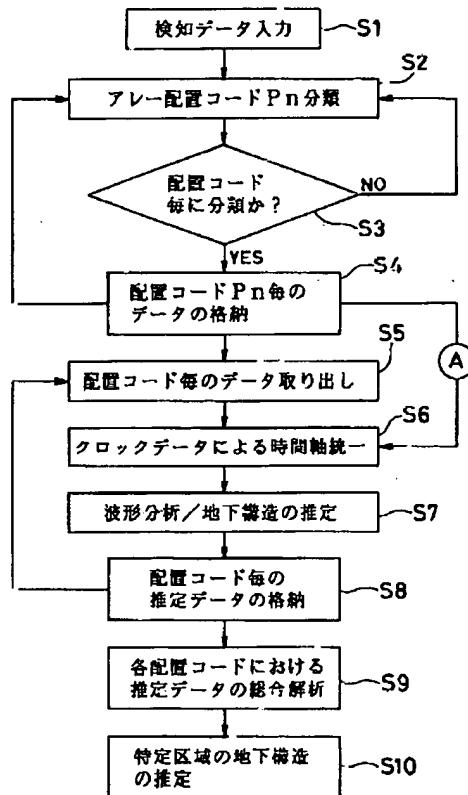
【図2】



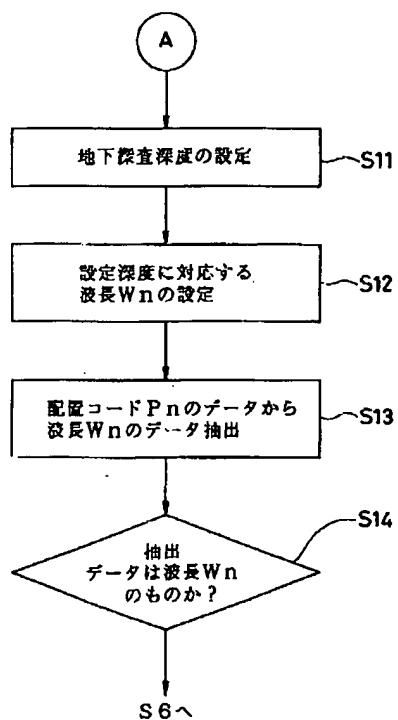
【図6】



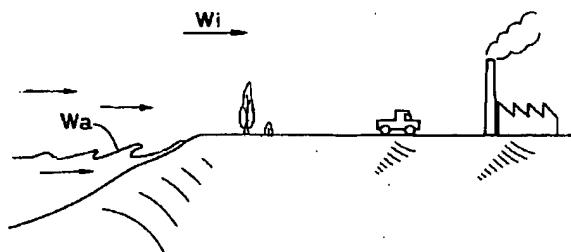
【図8】



【図9】



【図10】



【図11】

